

ELEKTRISCH,

LUFTSCHRAUBEN – SCHNELLER ALS DIE PITCH ERLAUBT

ABER RICHTIG

Viele Modellflieger vertreten die Meinung, dass ein Modellflugzeug höchstens mit einer Geschwindigkeit, die der Pitch-Geschwindigkeit der Luftschraube entspricht, fliegen kann. Ist dem so? Oder geht es nicht doch schneller? Markus Müller klärt auf.

Die Luftschrauben definieren sich bekannter Weise durch ihren Durchmesser und ihre Steigung (Pitch). Dabei ist der Steigungswinkel entlang des Propellerblattes alles andere als konstant. An der Wurzel ist der Blattwinkel sichtbar höher und nimmt zur Blattspitze kontinuierlich ab. Wie definiert sich denn nun die Pitch?

Wir betrachten zunächst mal einen 20x8-Zoll-Propeller. Die Steigung beträgt 8 Zoll (Inch). Stellen wir uns ein Stück weiche Butter vor: Wenn wir nun den Propeller mit einer Umdrehung in die Butter „reindrehen“, bohrt sich die Luftschraube 203,2 Millimeter (=8 Zoll) in die Butter rein. Damit dies über das gesamte Propeller-Blatt in gleichem Maße stattfinden kann, ist der sichtbar abnehmende Blattwinkel von großer Bedeutung. Dieser stellt sicher, dass sich der Propeller über das ganze Blatt trotz unterschiedlicher Drehgeschwindigkeit mit konstanter Vorwärtsgeschwindigkeit durch die Butter (bzw. Luft) bewegt. Die Pitch lässt sich etwa bei 75 Prozent des Durchmessers physisch überprüfen (Winkel zwischen Propellersehne und Drehebene). Somit ist die Pitch ein rein geometrisches Maß.

Nun kommt aber ein weiteres Element ins Spiel, das die Propeller-Betrachtung nicht gerade vereinfacht: Heutige Luftschrauben haben Blattquerschnitte, die einem asymmetrischen Flügelprofil entsprechen. Folglich ist ein Propeller ein rotierender Flügel. Von einem Flügelprofil wissen wir nur zu genau, dass die Null-Auftriebslinie nicht mit der Flügelsehne übereinstimmt (vgl. Bild 2). Das heißt, wenn die Flügelsehne



perfekt parallel angeströmt wird, entsteht am Flügel weiterhin Auftrieb (F_A), da die Null-Auftriebslinie zur Anströmung nach wie vor einen Anstellwinkel (AoA = Angle of Attack) aufweist (vgl. Bild 3).

Was dies nun mit unserem Propeller gemein hat? Nun, dieses komplexe Verhalten lässt sich mit der „Blade Element Theory“ (Blatt-Element-Theorie) theoretisch und nicht gerade trivial beschreiben. Soweit gehen wir aber nicht und wenden uns einem anschaulichen Beispiel zu: dem bereits erwähnten Propeller APC-E 20x8. Der dreht mit 6.000 Umdrehungen pro Minute konstant. Damit erreicht der Propeller eine nominal (geometrische) Pitch-Geschwindigkeit (V_{Pitch}) von 20,32 Metern pro Sekunde (= 6.000 U/min / 60 x 8 Zoll x 0,0254), was 73,15 Stundenkilometern entspricht. Aus den Leistungsdaten

von APC (www.apcprop.com/technical-information/performance-data/) lässt sich eine Grafik erstellen (vgl. Bild 4). Diese zeigt den Schub am Propeller in Abhängigkeit der relativen Vorwärtsgeschwindigkeit der Luftschraube auf.

Der Schub nimmt mit zunehmender Vorwärtsgeschwindigkeit des Modells annähernd linear ab. Die horizontale Geschwindigkeitsskala habe ich dabei bewusst auf den Wert von V_{Pitch} normiert. Dies verdeutlicht nun, dass der Propeller beim Erreichen der errechneten V_{Pitch} von rund 73 Stundenkilometern (roter Pfeil) immer noch einen beachtlichen Schubwert von rund 2,8 Kilogramm liefert – also weit über der gemein hin verbreiteten Annahme, keinen Schub mehr zu erzeugen. Die Windkanalmessung offenbart gar eine Schubproduktion bis zu einer Vorwärtsgeschwindigkeit von 107 Stundenkilometern, was dem 1,46-fachen der V_{Pitch} entspricht.

Ein Modell mit geringem aerodynamischem Widerstand kann somit sehr wohl schneller als die (geometrische) Pitch-Geschwindigkeit fliegen.

Doch was geschieht da nun genau? Der verfügbare Schub ist abhängig vom aerodynamischen Anstellwinkel (AoA) zwischen der Null-Auftriebslinie und der Anströmungsrichtung des Propellers. Steht das Modell am Boden fixiert, ist die Propeller-Anströmung parallel zur Rotati-

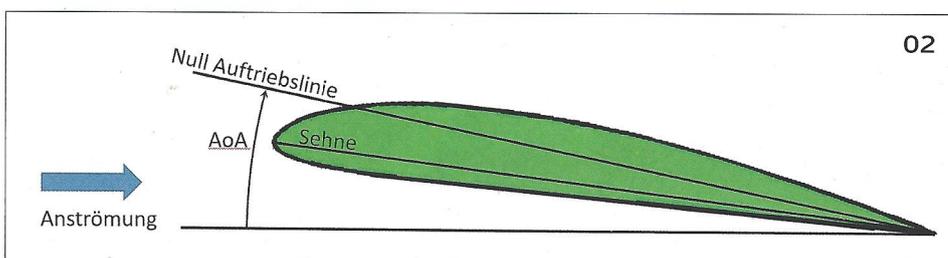


Bild 2 | Schematische Darstellung des Anstellwinkels an einem Flügelprofil

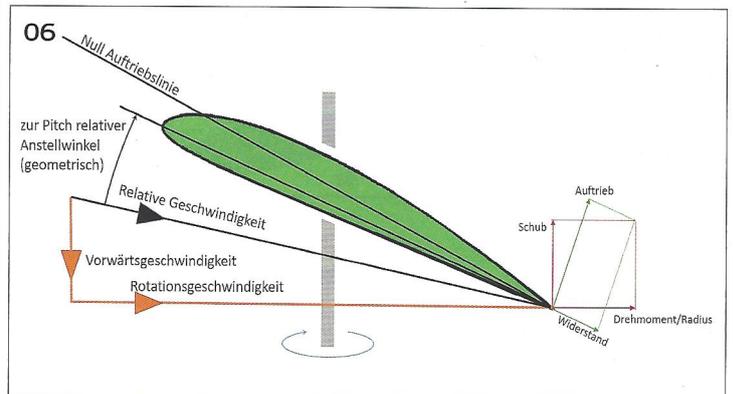
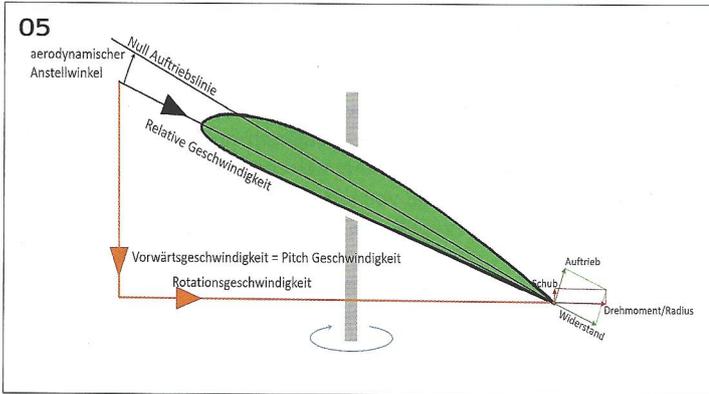
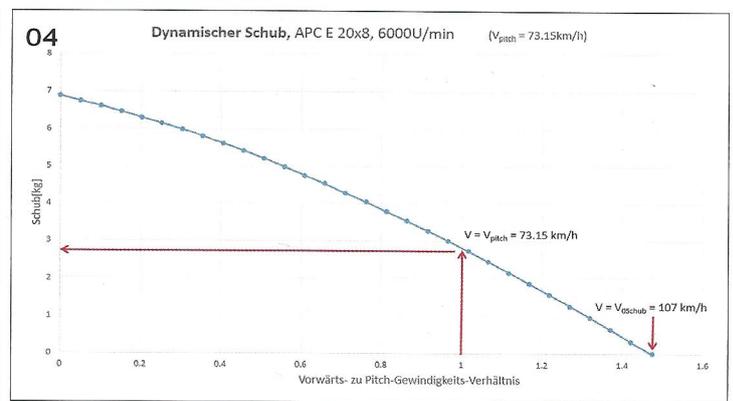
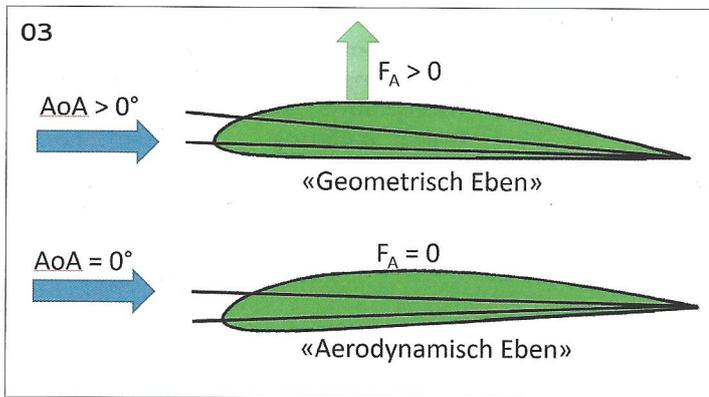


Bild 3 | Der Unterschied von geometrischer und aerodynamischer Anströmung

Bild 4 | Die Kennlinie des im Text erwähnten Propellers APC-E 20x8 Zoll

Bild 5 | Der geometrische Anstellwinkel des Propellerblatts

Bild 6 | Die Anströmung bei Pitch-Speed

ongeschwindigkeit. Dadurch entsteht der maximale Blatt-Anstellwinkel und folglich der maximale statische Schub, auch Standschub genannt (Voraussetzung: laminare Strömung über das Blatt).

Nun beginnt sich das Modell vorwärts zu bewegen (vgl. Bild 5). Aus der Rotationsgeschwindigkeit und der Vorwärtsgeschwindigkeit ergibt sich die relative Geschwindigkeit beziehungsweise die veränderte Anströmungsrichtung des Propellerblatts, der Anstellwinkel verkleinert sich und der Schub nimmt ab. Wir erhöhen die Modellgeschwindigkeit weiter, bis wir die (geo-

metrische) Pitch-Geschwindigkeit von 73,15 Stundenkilometer erreichen (vgl. Bild 6). Das Propellerblatt wird nun in Sehnen-Richtung angeströmt. Da aber aus aerodynamischer Sicht immer noch ein Anstellwinkel zur Null-Auftriebslinie besteht, erzeugt der Propeller nach wie vor Schub. Wird die Fluggeschwindigkeit weiter erhöht in Richtung 107 Stundenkilometer, nimmt der Schub weiter kontinuierlich ab, bis er beim Erreichen von null Grad Anstellwinkel ebenfalls den Wert Null ausweist.

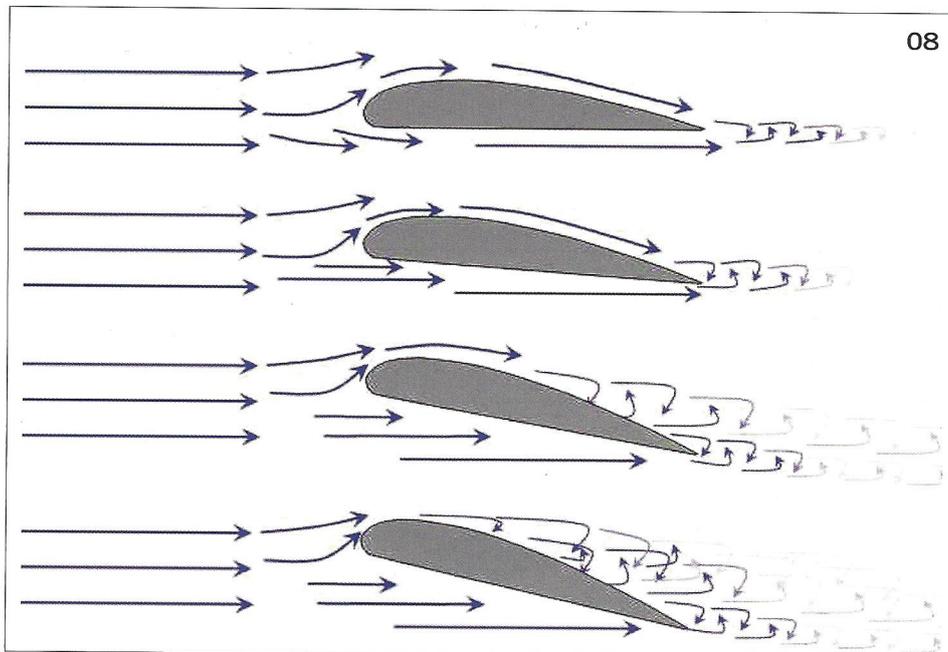
Der Antriebsrechner von www.eCalc.ch berücksichtigt diesen Effekt (vgl. Bild 7). Der Rech-

ner weist beim Erreichen der (geometrischen) Pitch-Geschwindigkeit immer noch einen vorhandenen Schub aus. Ferner kann bei Modellen mit (sehr) geringem aerodynamischem Widerstand theoretisch eine horizontale Fluggeschwindigkeit über der Pitch-Geschwindigkeit erreicht werden.

Bei Luftschrauben mit hoher Steigung neigt die Strömung dazu, über das Propellerblatt bei fehlender oder geringer Vorwärtsbewegung, bedingt durch den hohen (relativen) Anstellwinkel, abzureißen (vgl. Bild 8). Der „Flügel“ befindet sich in einem überzogenen Zustand, vergleich-

Propeller		Gesamter Antrieb		Modellflugzeug		07
Standschub:	3159 g	Komponenten:	714 g	Abfluggewicht:	1600 g	
	111.4 oz		25.2 oz		56.4 oz	
Drehzahl*:	41330 U/min	Leistungs-Gewicht:	869 W/kg	Flächenbelastung:	67 g/dm ²	
Schub bei Abriss:	2029 g		395 W/lb		22 oz/ft ²	
	71.6 oz	Schub-Gewicht:	1.97 : 1	Kubische Flächenbel.:	13.6	
Schub bei 299 km/h:	575 g	Strom @ max:	88.62 A	Überziehgeschwind.:	39 km/h	
Schub bei 185.7 mph:	20.3 oz	P(in) @ max:	1390.2 W		24 mph	
Pitch Geschw.:	299 km/h	P(out) @ max:	1105.2 W	gesch. Horizontal-Geschw.:	315 km/h	
	186 mph	Wirkungsgrad @ max:	79.5 %		196 mph	
Blattspitze:	1039 km/h	Drehmoment:	0.26 Nm	gesch. Vertikal-Geschw.:	166 km/h	
	645 mph		0.19 lbf.ft		103 mph	
spez. Schub:	1.67 g/W			gesch. Steigleistung:	46.2 m/s	
	0.06 oz/W				9095 ft/min	

Bild 7 | Das „propCalc“-Resultat eines Pylonmodells: 299 Stundenkilometer Pitchgeschwindigkeit, aber 315 Stundenkilometer Fluggeschwindigkeit

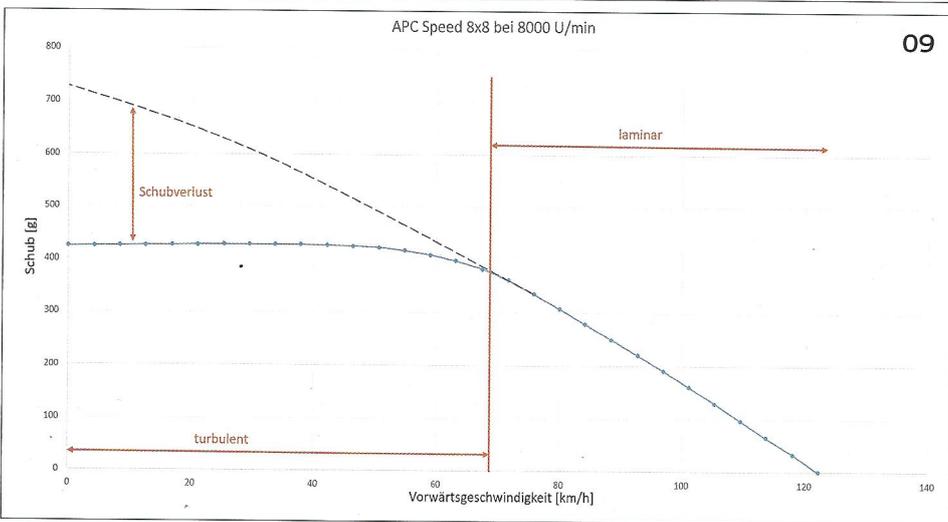


08

Bild 8 | Der Übergang von laminarer Strömung zur turbulenten Strömungsablösung Bild 9 | Der Strömungsabriss am Propellerblatt mit hoher Steigung

werden, natürlich mit einhergehendem Standschubverlust. Dies ist auch akustisch gut hörbar und manifestiert sich in einem „lauten“ Luftschraubengeräusch.

In Analogie zu oben, wird der Anstellwinkel der Luftschaube mit zunehmender Vorwärtsgeschwindigkeit zusehends verringert. Ab einer bestimmten Fluggeschwindigkeit vermag sich die Strömung wieder am Blatt „anzuschmiegen“ – geht von turbulent über in laminar – und der Propeller beginnt „voll zu beißen“. Dieses Verhalten ist sehr schön bei einer Windkanalmessung von einem APC-Speed 8 x 8 Zoll (vgl. Bild 9) zu erkennen. Im Ablösungsbereich verläuft der Schub grob konstant auf reduziertem Niveau und nimmt erst im laminaren Bereich stetig ab. Beim Auslegen von schnellen und sportlichen Modellen wird man zugunsten einer höheren Fluggeschwindigkeit den Nachteil des reduzierten Standschubs infolge des Strömungsabrisses am Propeller in Kauf nehmen und eine Luftschaube mit hoher Steigung wählen. Dadurch kann ein Handstart kritisch werden. Im Zweifelsfall empfehle ich einen stress- und adrenalinfreien Flitschenstart. Ferner ist es vorteilhaft, wenn der Propeller vor der Abrissgeschwindigkeit des Modells voll beißt, um vollen Vortrieb in brenzlichen Situationen zu haben. Propeller dieser Art sollten mit Bedacht eingesetzt werden, wo hohe Fluggeschwindigkeiten oberste Priorität haben. In den übrigen Fällen bewährt sich eine Steigung bis maximal 2/3 des Durchmessers zu wählen.



09

bar mit einem abschmierenden Modell. Die kritische Grenze, bei welcher die Strömung von laminar (anliegend) auf turbulent (abreißen) wechselt, ist abhängig vom „Flügelprofil“ und liegt bei grob 15 bis 20 Grad Steigungswinkel. Daraus lässt sich die Faustregel ableiten, dass

dieser kritische Punkt bei einer Propellersteigung von 2/3 des Propeller-Durchmessers erreicht wird ($\sim \tan(15^\circ) \cdot 0,75 \cdot \pi$). Bei einer 18-Zoll-Luftschaube muss folglich bei einer Steigung jenseits von 12 Zoll ($= 18 \cdot 2/3$) mit Strömungsablösungen am Propellerblatt gerechnet

Markus Müller
www.eCalc.ch

BRISTOL SCOUT

Spannweite ca.: 950mm • Gewicht ca.: 950g

- Reibrassiger Holzbausatz in Perfect LaserCut Qualität
- Tragfläche in leichter Kamm-Holm Bauweise
- Rumpf in leichter Gitterbauweise
- Perfekte Passgenauigkeit
- Sehr gutmütige Flugeigenschaften
- Ausgelegt für 3s 11,1V / 2.200mAh

RC-FUNKTIONEN
Höhenruder, Querruder, Seitenruder, Motor

Art. Nr. 3000 Bristol Scout | € 169,00
 Art. Nr. 314959 BL-Motor roxy 2834-10 | € 41,90
 Art. Nr. 03121502 Smart Eco 50 A Regler | € 22,50
 Art. Nr. X6651 LiPo Akku 3s 2200 mAh | € 22,95

MILAN

Spannweite ca.: 1.960mm • Gewicht ca.: 980g

Art. Nr. 4010 Milan | € 149,00
 Art. Nr. 4010.CS Milan mit Antriebsset, roxy 2834-10, Prop Mitnehmer & Spinner | € 199,00

RC-FUNKTIONEN
Höhenruder, Querruder, Seitenruder, Motor, Wölkklappen

Reinrassiger Holzbausatz in Perfect LaserCut Qualität

- Spricht bereits auf geringste Thermik an
- Preiswerter Antrieb mit langer Motorlaufzeit für ausgedehnte Flüge
- 3-teilige Tragfläche, einfacher Transport - ideal für den Urlaub
- Tragfläche in leichter Kamm-Holm Bauweise mit stabiler D-Box
- Rumpf in klassischer Kastenbauweise
- Perfekte Passgenauigkeit
- Gutmütige Flugeigenschaften
- Ausgelegt für 3s 11,1V / 2.200mAh

ideecon Klaus Conzelmann • Gotthilf-Bayh-Str. 36 • D-70736 Fellbach • Fon: +49 (0)711-645 80 77 • info@ideecon.eu • www.ideecon.eu

>>> WINTERZEIT = BAUZEIT! Schau Dir dazu die Videos und Testberichte auf unserer Website an und entdecke die Combo-Sets...! <<<